SOLUTIONS DE REMPLACEMENT À LA FUMIGATION DES CALES DE NAVIRE VIDES AVEC DU BROMURE DE MÉTHYLE

Canada

Le rôle prépondérant du Canada dans le développement de produits de substitution du bromure de méthyle

Government of Canada | Gouvernement du Canada

Solutions de remplacement à la fumigation des cales de navire vides avec du bromure de méthyle

Novembre 1999

Préparé pour le :

Bureau de l'environnement
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Sous la direction de :

Paul Fields et Sheila Jones

Collaborateurs :

Robert Brigham, Denis Bureau, Roger Cavasin, Paul Fields, Sheila Jones, Nancy Kummen, Dorothy Laidlaw, Brett MacKillop, Bernie McCarthy, John McIssac, Mike McLean, Michel Maheu, Mark Matthews, Dave Mueller, Don Shaheen, Martin St-Pierre, Blaine Timlick, Alan Van Ryckeghem et Murray Weightman.

La présente publication est également disponible sur le Web à l'adresse :
http://www.agr.ca/policy/environment

Références photographiques : Roger Cavasin, Paul Fields, David Mueller et Murray Weightman

Remerciements

La présente étude a vraiment été le fruit d’une concertation d’entreprises canadiennes et américaines, du gouvernement de l’Ontario et de divers ministères fédéraux canadiens. En plus des nombreux participants directs à l’étude, nous voudrions aussi remercier les personnes suivantes : Pierre Beauchamp, Geoff Cutten, Stephen Murch, Noel White et Larry Zettler. Les affiliations et coordonnées de chacun des collaborateurs sont énumérées à l’annexe B.

Conception graphique et impression :
Bonanza Printing & Copying Centre Inc., Ottawa (Ontario)

Imprimé au Canada sur du papier recyclé.

Table des matières

AVANT-PROPOS 1
RÉSUMÉ 3
TITRES DES TABLEAUX 5
INTRODUCTION 6
MÉTHODES
Le navire 8
Fermeture hermétique des cales 8
Épreuve sous pression 8
Traitements 9
Essais biologiques sur des insectes 9
Épreuves sur la corrosion 11
Recapture du bromure de méthyle 12
ECO_2FUME® 13
Système Horn Generator alimenté avec des granules de Magtoxin® 14
RÉSULTATS
Température, humidité relative et concentrations des gaz 16
Essais biologiques sur des insectes 19
Épreuves sur la corrosion 24
Recapture du bromure de méthyle 25
DISCUSSION
Recapture du bromure de méthyle 26
ECO_2FUME® 27
Système Horn Generator alimenté avec des granules de Magtoxin® 28
Utilisation potentielle dans d'autres applications 29
Autres solutions de remplacement à la fumigation des cales de navire vides avec du bromure de méthyle 18
BIBLIOGRAPHIE
ANNEXE A : Étiquettes expérimentales 34
ANNEXE B : Liste des collaborateurs et des personnes-ressources 45

Avant-propos

Le *Protocole de Montréal sur les substances appauvrissant la couche d'ozone* représente un accord mondial, dont le but consiste à protéger la couche d'ozone en réduisant la production de ces substances. Les pays développés signataires du *Protocole de Montréal* - dont font partie le Canada et les États-Unis - devront avoir complètement cessé de produire et de consommer du bromure de méthyle, d'ici 2005.

À l'heure actuelle, le *Protocole de Montréal* exempte l'utilisation du bromure de méthyle à des fins de quarantaine et avant l'expédition, puisqu'il est essentiel d'éviter le déplacement de parasites entre les pays. Cependant, en tant que citoyens de la planète, nous devons chercher des solutions de remplacement à chaque application de bromure de méthyle.

Afin de favoriser, dans la mesure du possible, la collaboration entre les chercheurs et d'accélérer la mise au point de solutions de remplacement, Agriculture et Agroalimentaire Canada et Environnement Canada ont créé un groupe de travail non officiel pour étudier les produits de substitution du bromure de méthyle. Une partie du mandat du groupe consiste à aider les chercheurs et l'industrie à régler ensemble des problèmes et à réaliser des projets communs, ainsi qu'à diffuser les résultats à l'intention du public en général. Selon ce groupe de travail mixte industrie-gouvernement, l'absence de solutions de rechange à la fumigation actuelle des cales de navire à des fins de quarantaine et avant l'expédition justifie l'urgence de se pencher sur la question et constitue une occasion de développement. Le présent rapport couronne les efforts d'une collaboration fructueuse entre une diversité d'entreprises canadiennes et américaines axées sur les produits et les services, le gouvernement provincial de l'Ontario et plusieurs ministères fédéraux.

Les résultats du rapport démontrent que l'on peut réussir à réduire les émissions de bromure de méthyle dégagées au moment de la fumigation des cales de navire. Cependant, il est clair que les résultats de cet essai sur le terrain peuvent avoir d'autres applications. Par exemple, on pourrait utiliser avec succès le bromure de méthyle pour ensuite le recapturer, ou bien la phosphine pour la fumigation de petits conteneurs jusqu'aux entrepôts bien scellés.

Je remercie sincèrement tous les participants à cet essai sur le terrain pour leur enthousiasme, leur professionnalisme et leur dévouement dans cet effort concerté pour traiter la question de l’appauvrissement de la couche d’ozone.

Le directeur exécutif principal
Direction générale des politiques
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Douglas D. Hedley, Ph.D.

RÉSUMÉ

Bien que le *Protocole de Montréal sur les substances appauvrissant la couche d'ozone* (Nations Unies) exempte actuellement l'utilisation du bromure de méthyle à des fins de quarantaine et avant l'expédition, de nombreux pays contestent cette exemption. Ils sont préoccupés par l'utilisation grandissante de ce produit à ces fins à la grandeur de la planète. Le coût du bromure de méthyle a augmenté au cours des dernières années et, avec l'approche de la date d'abandon de ce produit, nous pouvons nous attendre à que ce son prix continue de monter. Pour répondre à ces préoccupations, le Groupe de travail canadien industrie-gouvernement sur le bromure de méthyle a décidé d'examiner les solutions de remplacement à la fumigation des cales de navire vides avec le bromure de méthyle. Nous avons mis à l'essai trois méthodes de lutte contre les insectes dans les cales vides de navire : utilisation de bromure de méthyle suivie de sa recapture, utilisation de phosphine contenue dans des bouteilles (ECO_2FUME**{**) et production contrôlée de phosphine (Horn Generator alimenté avec du phosphure de magnésium).

Nous avons placé des flacons contenant des spécimens adultes et des oeufs de cucujide roux, de petit perceur des céréales, de charançon du riz et de tribolium rouge de la farine, insectes nuisibles communs des produits entreposés, dans chacune des cales du navire. Nous avons traité une cale de la façon classique avec 5 400 ppm de bromure de méthyle, une deuxième avec 500 ppm de phosphine dispensée par des bouteilles d'ECO_2FUME**{**, et une troisième, avec 1 000 ppm de phosphine produite par le système Horn Generator. Après 32 heures, tous les traitements avaient éliminé la totalité des adultes. Les fumigations avec la phosphine ont détruit au moins 94 % des oeufs après 32 heures, 99 % après 48 heures et 100 % après 72 heures. Les oeufs constituent l'un des stades les plus difficiles à éliminer par la fumigation. Le taux de mortalité des oeufs n'était que légèrement plus élevé avec l'utilisation d'une concentration de phosphine de 1 000 ppm qu'avec une concentration de 500 ppm.

Pendant cet essai, les températures étaient chaudes (maximums au-dessus de 30 BC et moyenne de 23 BC). Cependant, les navires doivent souvent subir une fumigation lorsque le temps est plus frais. Les températures basses affectent davantage l'efficacité de la phosphine que celle du bromure de méthyle. Une façon possible de surmonter la sensibilité de la phosphine aux températures fraîches consisterait à chauffer le navire avant la fumigation.

La technique de recapture du bromure de méthyle permet de

reprendre environ 80-90 % du produit utilisé et de récupérer environ 2 000 $CAN/75 kg (160 lb) de bromure de méthyle recapturé d'après ce projet de démonstration. Il faudrait construire des unités de recapture de grande capacité avant que cette méthode ne puisse être utilisée commercialement pour les cales de navire. Cette méthode est avantageuse par rapport aux autres puisqu'il y a peu d'obstacles réglementaires à son utilisation, le bromure de méthyle recapturé peut servir de nouveau, les risques pour la santé humaine à proximité des lieux de fumigation sont moindres, et il y a moins de bromure de méthyle relâché dans l'environnement.

Ni le fumigant ECO_2FUME® ni les granules de Magtoxin® (préparation de phosphure de magnésium alimentant le Horn Generator) ne sont homologués au Canada, bien que le processus ait été amorcé dans le deuxième cas. Le principal obstacle à l'utilisation de la phosphine dans les climats tempérés serait la plus longue période d'exposition nécessaire pour éliminer les insectes à de basses températures.

Nous avons aussi examiné la corrosivité de la phosphine pour le métal. Des bandes de cuivre affichaient des signes de corrosion après avoir été exposées aux deux traitements avec la phosphine. Bien que les prises de téléphone n'aient pas montré de signes d'attaque par la corrosion, un ordinateur mis en présence de 500 ppm a effectivement arrêté de fonctionner après 25,5 heures, son examen révélant que la panne résultait de l'amincissement et de la surchauffe du fil conducteur dans une puce de circuit intégré. Toutefois, compte tenu de la construction en acier lourd des cales de navire, la corrosion que nous avons observée dans cet essai ne devrait pas être préoccupante.

En conclusion, chacun des trois traitements pourrait être utilisé pour limiter les émissions de bromure de méthyle résultant de la fumigation des cales de navire. Ces méthodes coûtent actuellement plus cher que les traitements avec le bromure de méthyle, et il faudrait régler les questions de réglementation devraient être réglées avant d'utiliser ces méthodes pour la fumigation des cales de navire au Canada.

Le Canadian Trader amarré dans le port de Toronto

Titres des tableaux

Tableau 1 Nombre de navires céréaliers inspectés, soumis à la fumigation, pulvérisés avec un insecticide ou renettoyés dans les ports canadiens.

Tableau 2 Températures relevées sur les cloisons du navire et les flacons contenant des insectes à trois niveaux différents dans les cales soumises à des traitements différents.

Tableau 3 Concentrations des fumigants dans les cales du navire.

Tableau 4 Taux de survie des adultes dans la cale non traitée immédiatement après leur retrait de la cale du navire.

Tableau 5 Taux de survie des adultes dans la cale non traitée une semaine après leur retrait de la cale du navire.

Tableau 6 Nombre d’adultes par flacon qui ont émergé 5 semaines après l’exposition des flacons à des traitements pendant 32, 48 et 72 heures.

Tableau 7 Taux de survie des oeufs dans les cales de navire traitées comparativement à celui des oeufs dans la cale non traitée.

Introduction

Les Nations Unies ont décrété que le bromure de méthyle consite en une substance qui appauvrit la couche d'ozone. Tous les pays développés signataires du *Protocole de Montréal* sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone (anon., 1998) doivent cesser graduellement son utilisation d'ici 2005. Bien que le *Protocole de Montréal* exempte actuellement l'utilisation de ce produit à des fins de quarantaine et avant l'expédition, de nombreux pays contestent cette exemption. Ils sont préoccupés par l'utilisation grandissante de ce produit à ces fins qui comptent pour environ 22 % du bromure de méthyle consommé dans le monde. En outre, avec l'approche de la date limite pour cesser la consommation et réduire la production de bromure de méthyle, le prix des fumigations avec ce produit à toute fin devrait augmenter considérablement. Cependant, il est essentiel que des produits de substitution soient éprouvés et internationalement acceptés pour répondre aux exigences de la quarantaine et de traitements préalables à l'expédition.

Dans le *Protocole de Montréal*, la quarantaine est actuellement définie comme suit : « ...visant à empêcher l'introduction, l'acclimatation et/ou la prolifération de parasites en quarantaine ou à assurer qu'un contrôle officiel soit exercé lorsque ce contrôle est effectué ou autorisé par un organisme national de protection phytosanitaire, de protection de la faune ou de l'environnement, ou des services sanitaires compétents ». On y définit les traitements préalables à l'expédition comme étant des : « ...traitements qui sont appliqués directement avant l'exportation ou qui s'y rapportent, de façon à répondre aux conditions phytosanitaires ou sanitaires fixées par le pays importateur ou aux conditions phytosanitaires ou sanitaires fixées par le pays exportateur ». La proposition visant à préciser davantage la définition de traitement préalable à l'expédition limiterait les traitements à ceux effectués au plus 14 jours avant l'expédition.

Des membres du Groupe de travail canadien industrie-gouvernement sur le bromure de méthyle estimaient qu'une étude des solutions de remplacement pour les applications visant les cales de navire démontrerait l'efficacité de méthodes de substitution potentielles, révélerait si ces méthodes étaient homologuées ou non pour utilisation au Canada et fournirait des données sur leurs coûts associés. De plus, ces techniques peuvent être utiles dans d'autres situations où le bromure de méthyle sert à combattre les infestations d'insectes.

Le Canada a une politique de longue date qui consiste à inspecter

tous les navires avant le chargement du grain. La *Loi sur les grains du Canada* (paragraphe 85(3)) interdit le chargement du grain à bord d'un navire infesté. Si l'on découvre des insectes vivants ravageurs des produits entreposés dans la cale d'un navire, trois mesures possibles doivent être prises selon la nature de l'infestation : nettoyage de la cale, nettoyage de la cale suivie d'une pulvérisation avec un insecticide de contact (malathion) ou nettoyage suivi d'une fumigation. Environ 1 000 navires sont inspectés chaque année au Canada et environ 2 % d'entre eux doivent subir une fumigation (Tableau 1). Le bromure de méthyle est le fumigant de choix parce que cet insecticide agit rapidement.

Une expérience effectuée à bord d'un navire fournirait l'occasion unique de comparer simultanément l'efficacité de trois méthodes de remplacement dans des conditions de terrain identiques. On a aussi étudié la corrosivité de la phosphine.

Tableau 1. Nombre de navires céréaliers inspectés, soumis à la fumigation, pulvérisés avec un insecticide ou renettoyés dans des ports canadiens[1]. (D. Laidlaw, Agence canadienne d'inspection des aliments, 1999)

Type de navire	Mesure[2]	Année (1er avril - 31 mars)						
		1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999
Navire hors mer	Inspection							
	Pulvérisation							
	Renettoyage							
	Fumigation							
Navire de haute mer	Inspection							
	Pulvérisation							
	Renettoyage							
	Fumigation							
	% de navires soumis à la fumigation							

[1] Ports où l'on fait habituellement les inspections : Québec, Montréal, Saint-Hyacinthe, Halifax, London, Thunder Bay, Vancouver.
[2] Des mesures correctives ne visent pas nécessairement tout le navire, mais peuvent toucher une ou plus d'une cale.

Méthodes

Le navire

L'essai sur le terrain a été effectué à bord du « Canadian Trader », un navire hors mer de 223 mètres (730 pi), conçu pour transporter un chargement d'environ 29 000 tonnes (6 600 tonnes). La Figure 1 décrit les dimensions et la disposition du navire. Les cales numérotées 1, 4 et 6 ont été utilisées pour les traitements. Le « Canadian Trader » a été choisi en raison de ses similitudes avec la structure et la fonction des navires de haute mer.

Figure 1 : Le « Canadian Trader », dimensions des cales, emplacement des traitements et des flacons d'insectes expérimentaux.

Horn Generator 1 000 ppm de PH

Vide

ECO_2FUME 500 ppm de PH

Non traitée

Recapture du MeBr

Insectes

Cale nº 6 (5, 4, 3, 2, 1)

Capacité 8 950 8 225...

ft pi

Fermeture hermétique des cales

Deux petits tunnels (60 cm x 45 cm, 24 po x 16 po) à la base de chacune des cloisons (parois) séparant des cales adjacentes assurent le drainage entre les cales. Dans les cales soumises à une fumigation, nous avons scellé ces tunnels avec du polyéthylène de 6 mm d'épaisseur, de la colle et du ruban adhésif en toile. Nous avons serré en place les couvercles d'écoutille en acier du navire, et avons scellé leurs bords avec du ruban adhésif en toile de 7 cm (3 po) de largeur. Nous avons couvert les trous d'homme avec du polyéthylène de 6 mm (0,25 po) d'épaisseur et les avons scellés avec du ruban adhésif en toile. Nous avons passé au travers de ce polyéthylène les tubes servant à introduire et à échantillonner les fumigants, ainsi que les cordes utilisées pour récupérer les échantillons d'insectes et de cuivre (pour l'étude sur la corrosion).

Trous d'homme couverts avec du polyéthylène et scellés avec du ruban adhésif en toile

Épreuve sous pression

L'épreuve sous pression nous renseigne sur le niveau relatif d'étanchéité entre les cales et nous permet de déterminer

l'efficacité de chaque joint. Dans le cadre de l'expérience, nous avons utilisé une soufflerie haute pression (1/2 hp) pour établir une pression positive de 0,38 kPa (1,5 pouce d'eau) dans chaque cale. Une fois la pression atteinte, nous avons arrêté la soufflerie, puis nous avons scellé son tube et noter le temps de passage de la pression de 0,38 à 0,19 kPa. Dans les cales nos 1, 4 et 6, la pression a chuté de 50 % respectivement en 6,1, 13,5 et 6,0 minutes. Au départ, la pression ne pouvait être maintenue que brièvement dans la cale nº 4, aussi avons-nous scellé de nouveau les tunnels de drainage à la base de la cale et repris l'épreuve sous pression. Ces résultats indiquent que l'enceinte était étanche et sûre d'après les normes de la fumigation. Les normes australiennes pour l'épreuve sous pression sont d'une demi-vie de cinq minutes. (Banks, 1984).

Épreuve sous pression servant à évaluer l'étanchéité des joints des cales du navire avant la fumigation

Traitements

Notre expérience a porté sur trois traitements : la fumigation avec environ 5 400 ppm (21 oz/1 000 pi^3) de bromure de méthyle, suivie de la recapture du fumigant une journée plus tard (cale nº 1); l'application de 500 ppm de phosphine à l'aide de la méthode ECO_2FUME **{** (cale nº 4); et l'application de 1 000 ppm de phosphine à l'aide du Horn Generator alimenté avec du phosphure de magnésium (cale nº 6). La cale nº 3, non traitée, a servi de témoin. Nous avons commencé les fumigations entre 12 h 30 et 12 h 50 le dimanche 6 juin 1999.

Nous avons mesuré les concentrations de bromure de méthyle dans la cale du navire avec un analyseur de gaz de fumigation (GO-MAC Instrument Co.). Nous avons utilisé un appareil PortaSens (Analytical Technologies) pour mesurer la concentration de phosphine dans les cales traitées avec ce produit et un appareil Silo-Chek (Canary Co.) pour mesurer celle dans la cale non traitée. En ce qui concerne l'échantillonnage aux lignes de délimitation, nous nous sommes servis d'un détecteur PAC III de Draeger, qui est sensible à des concentrations de phosphine de 0,01 ppm. Nous avons prélevé des échantillons par intervalle de 6 heures devant un entrepôt de recyclage situé à 11 m (35 pi) du navire et à 22 m (70 pi) des ouvertures de ses cales. En outre, le seul membre d'équipage travaillant à bord du navire portait un détecteur PAC III de Draeger pendant la fumigation. Nous avons aussi effectué des prélèvements dans les tunnels situés à côté des cales et au-dessus des citernes latérales.

Essais biologiques sur des insectes

Nous avons utilisé quatre insectes différents dans les essais biologiques : le cucujide roux (*Cryptolestes ferrugineus*

(Stephens)), le charançon du riz (*Sitophilus oryzae* (L.)), le tribolium rouge de la farine (*Tribolium castaneum* (Herbst)) et le petit perceur des céréales (*Rhyzopertha dominica* (Fabricius)). Des flacons d'essai pour chaque espèce ont été préparés. Le mercredi 2 juin, vingt-cinq adultes de différents âges ont été placés dans des flacons de plastique bouchés avec une toile moustiquaire et contenant 10 g de blé, 20 % de cette quantité étant constituée de petits fragements de céréales. Les flacons ont été maintenus à 30 ℬC pendant 24 heures, puis transportés de Winnipeg à Toronto (à une température avoisinant 20 ℬC) et disposés dans les cales du navire le samedi 5 juin. Cette période d'incubation avant le traitement a permis aux femelles de pondre, mais n'était pas assez longue pour que les oeufs éclosent. Par conséquent, tous les flacons contenaient à la fois des oeufs et des adultes.

Mise en place des flacons d'insectes dans une cale du navire

Nous avons attaché les flacons à des cordes avec du ruban adhésif. Nous avons placé une série (quatre espèces, quatre répétitions/espèce) au fond (à 12 m (36 pi) du haut de la cale), à mi-chemin (à 6 m (18 pi) du haut) et en haut de chaque cale. Nous avons suspendu trois cordes, portant chacune trois séries de flacons, à partir du trou d'homme. Nous avons retiré une corde de chaque cale 32, 48 et 72 heures après le début de la fumigation. Dans le cas du traitement avec le bromure de méthyle, nous avons retiré une seule corde à la fin de la fumigation (32 heures). En ce qui concerne le retrait des cordes de la cale traitée avec la phosphine 32 et 48 heures après la fumigation, nous avons pratiqué une ouverture dans le polyéthylène pour pouvoir retirer de la cale la corde et les flacons qui y étaient attachés, puis nous avons scellé de nouveau cette ouverture avec du ruban adhésif en toile.

Nous avons mesuré les températures avec des fils de thermocouple reliés à un consignateur de données qui relevait les températures aux dix minutes et enregistrait la température moyenne à chaque heure. Les températures ont été relevées à six endroits dans chacune des quatre cales - au fond, au milieu et en haut de la cale par des fils fixés à la cloison et aux trois niveaux occupés par les flacons. Nous avons mesuré l'humidité relative dans la partie supérieure de la cale nº 4, à l'aide d'un capteur capacitif d'HR sensible à 2 % près fixé au consignateur de données, et au fond, à l'aide d'un appareil ACR Smart Reader 2 avec capteur de température et d'HR sensible à 4 % près.

Chaque fois qu'une corde était retirée d'une cale, les adultes

étaient séparés des grains de blé de chaque flacon par passage au tamis, les taux de survie étaient consignés, et les adultes étaient placés dans de nouveaux flacons contenant un nouvel approvisionnement en blé. Ces flacons ont été maintenus à environ 20 BC dans les quartiers de l'équipage du navire jusqu'au mercredi 9 juin, puis ont été expédiés à Winnipeg le vendredi 11 juin où ils ont été maintenus à 30 BC. Une semaine après le retrait des insectes de la cale, le nombre d'adultes vivants et morts a été réévalué dans le but de détecter des cas de mortalité à retardement ou d'insectes réanimés qui pourraient avoir été comptés parmi les insectes morts mais qui étaient dans un état de stupeur provoqué par le fumigant. Pour évaluer la survie des oeufs, nous avons placé le blé qui avait été entreposé dans les cales à 30 BC le 11 juin et avons compté le nombre d'adultes émergés après cinq semaines.

Dénombrement des insectes survivants dans chaque flacon

Épreuves sur la corrosion

Afin de mesurer la corrosivité de la phosphine pour le métal, nous avons examiné des échantillons de cuivre et des composantes électriques. Des bandes de cuivre (1 cm x 3 cm, 0,5 po x 1,25 po) ont été nettoyées avec de l'acide chlorhydrique concentré, puis elles ont été pesées et numérotées. Nous avons fixé un flacon contenant trois bandes de cuivre et une fiche mâle de téléphone aux extrémités inférieure et supérieure de chaque corde. Nous avons aussi fixé trois rallonges de téléphone de 15 m (45 pi), avec connexion de prises mâle et femelle, avec du ruban adhésif au bout de chaque corde. À la fin des essais, nous avons envoyé les flacons et les fiches à monsieur Robert Brigham, Ph.D. métallurgiste, pour analyse. Les bandes de cuivre ont été pesées à leur réception, nettoyées jusqu'au métal nu avec de l'acide chlorhydrique, trempées dans de l'alcool absolu, séchées et pesées de nouveau pour déterminer la perte de poids. Les rallonges de téléphone ont été coupées, et la résistance au niveau de la connexion de la prise de téléphone a été suivie en fonction du temps conformément en général à la méthode d'essai C(3) ASTM B 539. Pour exécuter cette technique d'« essai sur les circuits en régime sec », on applique un potentiel de 0,020V et on limite le courant à 100mA. Un potentiostat (modèle 363 de EG&G Princeton Applied Research) a été utilisé pour fournir la tension continue et pour surveiller le courant résultant (Brigham, 1999).

Une carte-mère d'ordinateur 486 a été déposée au fond de la cale nº 6 (1 000 ppm de phosphine) et récupérée à la fin de l'essai pour être examinée. Un ordinateur Zenith en état de marche, ayant 512 K de mémoire vive, et un moniteur ont été placés à

l’intérieur du second trou d’homme de la cale nº 4 (500 ppm de phosphine). Des cables d’alimentation et de clavier ont été passés au travers du polyéthylène transparent de sorte que les commandes puissent être tapées à l’ordinateur afin de déterminer les effets possibles de l’exposition à la phosphine.

Recapture du bromure de méthyle

Avant de sceller la cale nº 1, nous avons fixé un tube de plastique, servant à introduire le bromure de méthyle dans la cale et mesurant 0,9 cm (0,38 po) de diamètre, à la partie supérieure de l’échelle d’accès avec du ruban adhésif. En outre, trois tubes flexibles, de 5 cm (2 po) de diamètre, ont été insérés dans la cale pour recapturer le fumigant. Afin d’optimiser la recapture, les entrées d’admission des tubes ont été déployées au fond de la cale. Les trois tubes étaient reliés au collecteur de premier niveau qui contenait un tamis moléculaire à zéolite. La soufflerie utilisée pour la recapture était placée en aval des collecteurs afin que le processus se déroule sans risque. Les collecteurs et la soufflerie étaient installés sur un camion à plate-forme stationné sur le quai.

Unité de recapture du bromure de méthyle fabriquée par Cryo-Line Supplies Inc.

En 30 minutes, 91 kg (200 lb) de bromure de méthyle ont été libérés dans la cale. Après quatre heures, nous avons vérifié de nouveau les joints d’étanchéité de la cale et ajouté 22,5 kg (50 lb) supplémentaires de bromure de méthyle afin d’atteindre la concentration désirée (5 400 ppm). Un ventilateur placé au fond de la cale fonctionnait pendant les six premières heures de la fumigation afin de faciliter la dispersion du bromure de méthyle dans toute la cale.

Methyl bromide treatment
Traitement avec le bromure de méthyle

L’entreprise Cryo-Line Supplies Ltd. de Mississauga (Ontario), Canada, a effectué la recapture du bromure de méthyle. Elle a commencé le processus 24 heures après le début de la fumigation, soit à 13 h le lundi 7 juin. La soufflerie de 25 hp alimentée par une génératrice portative a créé une pression de 6,8 kPa (2 pouces de mercure) dans la cale en aspirant l’air à raison de 470 L/s (1 000 pi^3/min) en direction des collecteurs. Après deux heures, la recapture a été interrompue pendant 1,5 heure à cause d’un violent orage. Le processus a été arrêté à 20 h 30, dès la détection d’une fuite de bromure de méthyle de la sortie d’échappement des tamis des collecteurs. La concentration de bromure de méthyle encore dans la cale du navire à 21 h s’élevait à 390 ppm, ce qui est inférieur à 10 % de la concentration initiale. La zéolite dans le collecteur peut absorber de 4 à 6 %

de son poids de bromure de méthyle. La pesée du camion et du tamis sur une balance commerciale avant et après la recapture permet de déterminer la quantité de bromure de méthyle récupérée.

ECO_2FUME{

Le gaz de fumigation ECO_2FUME**{** consiste en un prémélange inflammable en bouteille de phosphine et de dioxyde de carbone; il est produit par Cytec Canada Inc., une entreprise de Niagara Falls (Ontario), Canada. Ce fumigant est un mélange gazeux de phosphine à 2 % en poids (2,6 % en volume) dans du dioxyde de carbone. La phosphine est inflammable, à une concentration de 1,79 % v/v d'air (Bond, 1984) mais, si sa concentration est inférieure à 2,75 % v/v de dioxyde de carbone, elle est alors ininflammable peu importe sa proportion dans l'air (Pearson, 1995).

Nous avons utilisé des bouteilles haute pression de 44 L (1,5 pi^3) contenant au total 22,7 kg (50 lb) de gaz; 0,45 kg (1 lb) de phosphine dans 22,23 kg (49 lb) de dioxyde de carbone. Une bouteille de cette taille sert à la fumigation d'un espace occupant un volume de 652 m^3 (23 060 pi^3) à 25 ºC (77 ºF) avec une concentration de 500 ppm de phosphine. Il fallait 9,5 (22,7 kg) bouteilles d'ECO_2FUME**{** pour établir la concentration visée de 500 ppm dans la cale nº 4 mesurant 6 220 m^3 (219 720 pi^3).

Pour cette application, on a construit deux distributeurs, chacun pouvant accommoder quatre bouteilles d'ECO_2FUME**{**. Ils étaient fabriqués de tubes et de raccords haute pression en acier inoxydable de 6 mm (1/4 po), et chaque distributeur était équipé d'un manomètre. Une tubulure de cuivre de 15 m (45 pi) de longueur et de 6 mm (1/4 po) d'épaisseur était fixée à l'extrémité de chaque distributeur. Des tubes de cuivre ont été choisis en raison de leur flexibilité qui facilitait leur transport et leur installation. Les deux tuyaux reliaient les distributeurs des bouteilles au trou d'homme et étaient solidement attachés à l'échelle d'accès à 2 m (6 pi) plus bas que le trou d'homme. Le produit ECO_2FUME**{** a été choisi pour cet essai en raison de la facilité et du taux d'application et de l'efficacité du fumigant. Les traitements avec le fumigant ECO_2FUME**{** et le système Horn Generator alimenté avec des granules de Magtoxin**z** diffèrent des fumigations classiques avec la phosphine au cours desquelles on se sert de phosphure d'aluminium ou de magnésium en granules ou en plaques. Ces préparations solides de phosphine réagissent avec l'humidité dans l'air pour entraîner la libération de la phosphine (gaz) et nécessitent, par conséquent, plus de temps pour atteindre les concentrations recherchées.

Les robinets des quatre premières bouteilles de fumigant ECO$_2$FUME{ d'un distributeur ont été ouverts pour commencer la fumigation, mais le taux d'application a été réduit à une bouteille à la fois afin de remplacer lentement l'air dans la cale et ainsi de réduire le plus possible la pression sur les joints d'étanchéité. Il faut environ cinq minutes pour vider complètement une seule bouteille. Les neuf bouteilles de fumigant ECO$_2$FUME{ ont été vidées sur une période de 90 minutes pour établir la concentration désirée de 500 ppm de phosphine.

Une partie d'une dixième bouteille de fumigant a été appliquée 21 heures après le début du traitement pour remonter la concentration de phosphine. Le reste de la bouteille a été ajouté 69 heures après le début de la fumigation. Le rajout de phosphine permettait de maintenir la concentration désirée de phosphine et ainsi de compenser pour la « respiration » de la cale résultant des fluctuations de la température.

Mise en place des bouteilles pour un traitement avec la phosphine

Système Horn Generator alimenté avec des granules de Magtoxinz

Le Horn Generator est un dispositif automatisé fabriqué par Degesch de Chile. Il s'agit d'une chambre de réaction spécialisée dans laquelle du phosphure de magnésium de haute pureté réagit avec de l'eau pour donner de la phosphine. Cette réaction s'effectue sous une atmosphère de dioxyde de carbone. Le mélange de phosphine et de dioxyde de carbone est alors injecté à travers un système de recirculation dans la structure devant subir une fumigation. Les réactions chimiques qui se produisent dans le Horn Generator sont les suivantes :

$Mg_3P_2 + 6\ H_2O \rightarrow 2\ PH_3 + 3\ Mg(OH)_2$

phosphure de magnésium — eau — phosphine — hydroxyde de magnésium

$Mg(OH)_2 + CO_2 \rightarrow MgCO_3 + H_2O$

hydroxyde de magnésium — dioxyde de carbone — carbonate de magnésium — eau

Les granules de Magtoxin**z** de Degesch, contenant 96 % de phosphure de magnésium sous forme de poudre qui s'écoule facilement, sont conçus et préparés spécifiquement pour alimenter le Horn Generator. Les granules sont fournis en flacons de 850 g (1,9 lb) (libérant 411 g (0,9 lb) de phosphine). Des demandes d'homologation des granules de Magtoxin**z** comme antiparasitaire ont été soumises au Canada, aux États-Unis et dans d'autres pays.

Une fois mis en marche, le Horn Generator rince le système avec du dioxyde de carbone, remplit la chambre de réaction d'eau et active le ventilateur de recirculation. Une fois ces opérations complétées, les granules peuvent être chargés manuellement dans le réservoir de fumigant à l'intérieur de l'instrument. Un interrupteur est alors actionné; les granules sont transférés automatiquement dans le réacteur, et l'injection de la phosphine dans la structure s'amorce. Le Horn Generator est conçu pour réagir avec le contenu d'un flacon de granules dans environ sept minutes. Les conduites de transfert et la chambre de réaction à l'intérieur du Horn Generator doivent être nettoyées après l'addition de 21 flacons (une caisse de granules). Une solution d'acide formique est utilisée pour éliminer par rinçage le carbonate de magnésium. Il faut environ 30 minutes pour nettoyer le Horn Generator et le préparer pour des additions subséquentes de granules.

Pour atteindre la concentration visée de 1 000 ppm de PH_3, 24 flacons de granules de Magtoxin**z** ont été utilisés pour produire 9 833 g (21,6 lb) de PH_3. Le Horn Generator a été installé à environ 10 m (30 pi) du trou d'homme par lequel passent les conduites pour l'échantillonnage du gaz, et sont introduits les cordes auxquelles sont fixés les flacons d'insectes de l'expérience, les fils de thermocouple et la tubulure utilisée pour injecter et faire recirculer la phosphine dans la cale. La tubulure servant à l'injection a été prolongée jusqu'au fond de la cale, sa longueur totalisant environ 23 m (70 pi).

Alimentation du Horn Generator avec des granules de Magtoxin**z** de Degesch

Le Horn Generator a été mis en marche à 12 h 40 le 6 juin 1999. Après une brève période nécessaire pour remplir d'eau la chambre de réaction et rincer le système avec du dioxyde de carbone, les granules ont été ajoutés à compter de 12 h 49. Peu après l'addition des granules dans la chambre de réaction, nous nous sommes aperçus que le Horn Generator ne fonctionnait pas selon les spécifications. En effet, l'alarme de faible écoulement de l'air s'est déclenchée à maintes reprises, mettant automatiquement un frein à l'addition des granules dans la chambre de réaction. Ce problème a persisté tout au long de la période d'addition à un point tel que l'injection de phosphine a pris presque le double du temps prévu. L'introduction de phosphine dans la cale à partir des 24 flacons de granules a été complétée à 18 h 20 le 6 juin.

Nous avons appris par la suite que le navire ne pouvait pas fournir de l'eau à une pression constante, et que les

augmentations rapides de pression dans la canalisation d'eau alimentant le Horn Generator faisaient jaillir en éclaboussures l'eau hors de la chambre de réaction dans la pompe, retardant ainsi l'écoulement de l'air. La chute de pression résultant du prolongement très important de la canalisation d'injection du Horn Generator peut avoir contribué au problème. On a installé un limiteur de surtension à la prise d'eau dans le Horn Generator. Des essais effectués à la suite de l'expérience ont révélé que le prolongement des canalisations de recirculation n'avait pas eu d'effet sur le débit d'air.

Résultats

Température, humidité relative et concentrations des gaz

Au cours de l'épreuve de trois jours, les températures dans les cales du navire ont varié entre 33 et 15 BC (Figure 2), la température moyenne pendant la première journée de fumigation atteignant 23 BC. Les températures des flacons étaient semblables à celles mesurées au niveau des cloisons du navire. Elles étaient légèrement plus chaudes au niveau supérieur que celles aux niveaux inférieurs (Tableau 2). L'humidité relative a varié entre 62 et 17 % (Figure 2). Les deux détecteurs d'humidité relative ont donné des relevés semblables et n'ont pas paru être pas affectés par la phosphine.

Figure 2. Changements dans la température et l'humidité relative pendant la fumigation des cales du navire.

Température (BC)

Date
5(6, 7, 8, 9) juin

Humidité relative (%)

Humidité relative, haut de la cale traitée avec le fumigant ECO_2FUME **{**

Température, à mi-hauteur de la cale non traitée

Avant le traitement

Après le traitement

Tableau 2. Températures relevées sur les cloisons du navire et les flacons contenant des insectes à trois niveaux différents dans les cales soumises à des traitements différents. Les températures figurant dans cette série de données ont été prises juste avant le début des traitements, entre 10 h le 5 juin et 15 h le 6 juin.

Endroit	Niveau	Température (BC)[1]				
		Bromure de méthyle	Pas de traitement	ECO_2FUME { 500 ppm de PH_3	Horn Generator 1 000 ppm de PH_3	Moyenne
Cloison du navire	Haut	24,5 ± 0,8a				
	Milieu					
	Bas					
	Moyenne[2]					
Flacon	Haut					
	Milieu					
	Bas					
	Moyenne					

[1] Pour un traitement-endroit donné, les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes, p ™ 0,05, méthode Student-Newman-Keuls.
[2] Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes, p ™ 0,05, méthode Student-Newman-Keuls.

Tableau 3. Concentrations des fumigants dans les cales du navire. Les mesures en grisé sous estiment les véritables concentrations à cause du léger vide dans les cales causé par le refroidissement. Les concentrations visées étaient de 5 400 ppm pour le traitement avec le bromure de méthyle, de 500 ppm de phosphine pour le traitement avec le fumigant ECO_2FUME **{** et de 1 000 ppm de phosphine pour le traitement avec le Horn Generator.

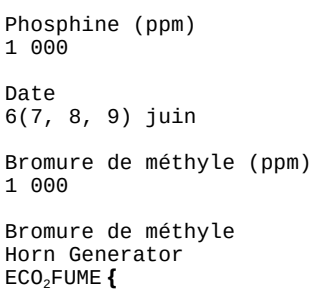
Date	Heure	Bromure de méthyle (ppm)			ECO_2FUME **{** ppm de PH_3			Horn Generator ppm de PH_3			Témoin ppm de PH_3		
		Bas	Milieu	Haut	Bas	Milieu	Haut	Bas	Milieu	Haut	Bas	Milieu	Haut
	13 h 50	10 800											
6 juin													
7 juin													
8 juin													
9 juin													

Les concentrations de gaz visées ont été atteintes aux trois niveaux après neuf heures dans le cas du traitement avec le bromure de méthyle (5 400 ppm), après 1,5 heure avec le fumigant ECO_2FUME **{** (500 ppm de phosphine) et après 5,5 heures en ce qui concerne le Horn Generator (1 000 ppm de phosphine). De la phosphine a été détectée au fond de la cale témoin, mais sa

concentration n’a jamais dépassé 10 ppm (Tableau 3, figure 3).

Une surveillance de l’air aux lignes de délimitation a été exercée tout au long du traitement. Les concentrations de phosphine consignées toutes les six heures étaient basses. Aucune concentration décelable de phosphine (>0,01 ppm, limite détectable) n’a été enregistrée aux lignes de délimitation durant les fumigations, y compris durant l’aération. L’entrepôt de recyclage se trouvait à environ 15 m (47 pi) du navire et à 20 m (64 pi) de la partie supérieure des cales traitées. Aucune présence de phosphine n’a été décelée dans les quartiers du navire. Le seul membre d’équipage à bord du navire portait en tout temps un détecteur PAC III de Draeger qui n’a jamais décelé la présence de phosphine pendant l’essai. De faibles concentrations de phosphine ont été détectées dans les tunnels longeant les cales et au-dessus des citernes latérales. Ces tunnels ont été scellés afin de freiner la propagation de la phosphine. Avant le début de l’expérience, des équipes de réparateurs avaient percé, dans le mur latéral de la cale nº 3, un trou de 1 m x 2 m (3 pi x 6 pi) qui pourrait avoir été la cause de la fuite de phosphine dans les tunnels.

Figure 3. Concentrations des fumigants dans les cales du navire. Les mesures en grisé sous-estiment les véritables concentrations en raison du léger vide dans les cales causé par le refroidissement.



Essais biologiques sur des insectes

Après 32 heures, aucun des insectes adultes n’avait survécu à l’un ou l’autre des trois traitements de fumigation. Dans la cale témoin, au moins 98 % des adultes de toutes les espèces avaient survécu après 32 heures (Tableau 4). Après une semaine, aucun des insectes dans les cales traitées ne s’était réanimé, et le taux de survie des insectes retirés de la cale témoin après 32 heures atteignait au moins 92 % pour toutes les espèces, à l’exception du petit perceur des céréales pour lequel le taux de mortalité moyenne se chiffrait à 69 ± 8 % (moyenne ± ET) (Tableau 5). Les insectes au fond de la cale témoin affichaient un taux de survie inférieur à ceux contenus dans les flacons installés plus haut dans la cale à cause probablement des concentrations plus élevées de phosphine, qui atteignaient environ 10 ppm, au fond de la cale

comparativement à des concentrations négligeables aux niveaux supérieurs (Tableau 3).

Il y avait une légère diminution du taux de survie dans la cale non traitée avec la durée d'exposition. Le taux de survie des petits perceurs des céréales adultes était inférieur à celui des autres espèces de l'expérience.

Tableau 4. Taux de survie des adultes dans la cale non traitée immédiatement après leur retrait de la cale du navire. Aucun des adultes dans les cales traitées n'a survécu après 32 heures.

Insectes provenant de la cale non traitée	Niveau	Survie (%, moyenne ± ET)		
		32 heures	48 heures	72 heures
Tribolium rouge de la farine	Haut	99 ± 1 a		
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			
Charançon du riz	Haut			
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			
Petit perceur des céréales	Haut			
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			
Cucujide roux	Haut			
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			

Pour une combinaison de température et d'insecte donnée, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes, p ™ 0,05, méthode Student-Newman-Keuls.

Tableau 5. Taux de survie des adultes dans la cale non traitée une semaine après leur retrait de la cale. Aucun des adultes considérés comme morts immédiatement après leur retrait des cales ne s'est réanimé après une semaine.

Insectes provenant de la cale non traitée	Niveau	Survie (%, moyenne ± ET)		
		32 heures	48 heures	72 heures
Tribolium rouge de la farine	Haut	100 ± 0 a		
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			
Charançon du riz	Haut			
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			
Petit perceur des céréales	Haut			
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			
Cucujide roux	Haut			
	Milieu			
	Bas			
	Moyenne			

Pour une combinaison de température et d'insecte donnée, les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes, p ™ 0,05, méthode Student-Newman-Keuls.

Tableau 6. Nombre d'adultes par flacon qui ont émergé après 5 semaines à 30 ßC. Vingt-cinq adultes ont été gardés dans des flacons contenant 20 g de blé pendant 3 jours afin de laisser suffisamment de temps pour la ponte des oeufs. Les flacons ont été exposés à des traitements dans les cales du navire pendant 32, 48 et 72 heures, puis les adultes ont été séparés par secouage du blé, et le blé et les oeufs ont été remis dans le flacon.

Insecte	Niveau	Durée d'exposition (h)	Nombre d'adultes émergés (moyenne ± ET)			
			Bromure de méthyle	ECO_2FUME { ppm de PH_3	Horn Generator ppm de PH_3	Cale non traitée
Tribolium rouge de la farine	Haut	32	0,3 ± 0,3			
		48				
		72				
	Milieu	32				
		48				
		72				
	Bas	32				
		48				
		72				
	Moyenne	32				
		48				
		72				
Charançon du riz	Haut	32				
		48				
		72				
	Milieu	32				
		48				
		72				

Insecte	Niveau	Durée d'exposition (h)	Nombre d'adultes émergés (moyenne ± ET)			
			Bromure de méthyle	ECO_2FUME { ppm de PH_3	Horn Generator ppm de PH_3	Cale non traitée
	Bas	32				
		48				
		72				
	Moyenne	32				
		48				
		72				
Petit perceur des céréales	Haut	32				
		48				
		72				
Cucujide roux						

Insecte	Niveau	Durée d'exposition (h)	Nombre d'adultes émergés (moyenne ± ET)			
			Bromure de méthyle	ECO_2FUME { ppm de PH_3	Horn Generator ppm de PH_3	Cale non traitée

Tableau 7. Taux de survie des oeufs dans la cale de navire traitée comparativement à celui des oeufs dans la cale de navire non traitée.

Durée d'exposition (heures)	Insecte	Survie (%)		
		Bromure de méthyle	ECO_2FUME { ppm de PH_3	Horn Generator ppm de PH_3
32	Tribolium rouge de la farine Charançon du riz Petit perceur des céréales	0,9		
48	Tribolium rouge de la farine Charançon du riz Petit perceur des céréales			
72	Tribolium rouge de la farine Charançon du riz Petit perceur des céréales			

La survie des oeufs a été estimée par le nombre d'adultes

émergeant après 5 semaines (tableau 6). Dans le cas du tribolium rouge de la farine, du charançon du riz et du petit perceur des céréales, de 11 à 107 adultes ont émergé de chaque flacon gardé dans la cale non traitée. Dans les cales traitées, après 32 heures, pas plus de 5 adultes ont émergé par flacon. Ce nombre a chuté à au plus 0,4 adulte en moyenne par flacon après 48 heures de traitement. Aucun adulte n'a émergé dans les cales traitées après 72 heures. Ces résultats sont résumés au tableau 7. On ne comptait en moyenne qu'entre 0,1 et 0,3 cucujide roux adulte par flacon provenant de la cale non traitée, aussi a-t-il été impossible d'estimer le taux de mortalité imputable à la fumigation pour cet insecte.

Épreuves sur la corrosion

Les bandes de cuivre affichaient des signes visibles de corrosion lorsqu'elles ont été retirées des deux cales traitées avec la phosphine. On a constaté une augmentation linéaire de la corrosion avec le temps. La corrosion était plus importante dans le cas de la fumigation avec la concentration supérieure de phosphine (1 000 ppm), sans toutefois être le double de la corrosion observée dans celui du traitement avec la concentration inférieure de phosphine (500 ppm) (figure 4). Ces résultats sont cohérents avec des études de laboratoire (Brigham, 1999). Il n'y avait pas de différence significative entre la corrosion observée sur les échantillons placés au fond et ceux installés en haut de la cale (analyse de la variance à deux critères de classification; $p= 0,48$, pour le niveau, $p> 0,001$ pour la durée). Les prises de téléphone ne montraient aucun signe visible de corrosion, ne présentaient pas de dépôts sur les surfaces non conductrices ni de coupure de circuits à cause de la corrosion. Il n'y avait pas d'augmentation de la résistance au niveau des prises de téléphone traitées. La carte-mère d'ordinateur 486 déposée dans la cale où la concentration atteignait 1 000 ppm présentait des dépôts visibles sur les connecteurs à ressort en laiton. L'ordinateur gardé 25,5 heures dans la cale traitée avec une concentration de 500 ppm présentait des dépôts de corrosion sur les jonctions de cuivre soudées et ne fonctionnait plus; toutefois, les températures élevées dans la cale peuvent aussi avoir contribué à sa défaillance.

Figure 4. Changement de poids (± ET) des bandes de cuivre dans les cales traitées avec 500 ou 1 000 ppm de phosphine

Changement de poids (g/dm^2)

Date

6(7, 8, 9) juin

Gain de poids
Horn Generator
1 000 ppm de PH_3

Gain de poids
ECO_2FUME {
500 ppm de PH_3

Cale non traitée

Perte de poids
ECO_2FUME {
500 ppm de PH_3

Perte de poids
Horn Generator
1 000 ppm de PH_3

Recapture du bromure de méthyle

Quatre-vingt-un pour cent des 114 kg (250 lb) de bromure de méthyle libérés pendant la fumigation ont été recapturés. Le système a été conçu pour récupérer 91 kg (200 lb) de bromure de méthyle, et il en a recapturé 92 kg (203 lb). La période de recapture s’est étendue sur environ six heures avant que le tamis soit plein, à l’exclusion de l’arrêt du système pendant 1,5 heure à cause de l’orage.

Discussion

Chacun des trois traitements pourrait être utilisé pour limiter les émissions de bromure de méthyle dans l'atmosphère résultant des fumigations de cales de navire. Ces méthodes seraient plus coûteuses que les traitements actuels avec le bromure de méthyle, et il faudrait d'abord régler certaines questions de réglementation avant d'utiliser ces méthodes pour la fumigation des cales de navire.

Recapture du bromure de méthyle

La méthode devrait être mise à l'échelle pour pouvoir traiter au complet des navires de haute mer dont le volume de chargement des cales varie entre 30 0000 et 100 000 m^3 (entre 1 000 000 et 3 500 000 pi^3). Des collecteurs ou des tamis peuvent être construits pour capturer 160 kg (350 lb) de bromure de méthyle qui pourraient alors servir à la fumigation des conteneurs utilisés pour les quarantaines. Un modèle d'entreprise mis au point par Cryo-Line Supplies Ltd. prévoit 20 collecteurs dans le port de Vancouver. Le coût du collecteur par utilisation s'élèverait à 1 750 $CAN, en supposant que chaque collecteur serait utilisé deux fois par mois. Chaque unité devrait durer dix ans.

Cryo-Line Supplies Ltd. propose le scénario suivant pour la recapture du bromure de méthyle dans les ports.

1. Chaque port compte un endroit établi, ou quai de recapture, doté d'un système d'évacuation (soit une seule soufflerie ou plusieurs souffleries plus petites), où sont effectuées les fumigations avec le bromure de méthyle. Les traitements sont exécutés en un seul endroit surtout pour des raisons de sécurité et pour réduire les coûts d'installation des souffleries et de la tuyauterie.

2. Les conteneurs et les navires sont acheminés vers le quai de recapture. La tuyauterie disposée dans la chambre, le conteneur ou le navire est reliée au réseau de tuyauterie fixe par un nombre suffisant de tuyaux souples pour récupérer le bromure de méthyle dans la période de temps requise.

3. À la fin de la fumigation, le bromure de méthyle est aspiré à travers la tuyauterie et soufflé à travers les collecteurs qui l'emprisonne.

4. Les collecteurs pleins sont remplacés par des unités vides. Les collecteurs saturés sont transportés à une usine centrale pour que le bromure de méthyle y soit récupéré, condensé et mis dans des bouteilles de gaz récupéré.

5. Le bromure de méthyle est traité de nouveau afin d'être conforme et est retourné au fumigateur pour être réutilisé.

La recapture du bromure de méthyle comporte plusieurs avantages :

- Réduction de la quantité de bromure de méthyle relâchée dans l'atmosphère.
- Diminution des risques pour les travailleurs à l'ouverture de la cale ou du conteneur traité par fumigation.
- Réutilisation possible du bromure de méthyle recapturé.
- Évacuation peut-être plus rapide du bromure de méthyle après le traitement des cales de navire.
- Nul besoin de faire homologuer la recapture du bromure de méthyle par Santé Canada, par opposition aux autres traitements utilisés dans cet essai.
- L'actuelle méthode de fumigation ne nécessite que très peu de changements, à part l'addition d'équipement dans la cale du navire, le conteneur ou la chambre avant leur fermeture hermétique.

Il y a toutefois certains obstacles à surmonter avant que cette méthode puisse être utilisée :

- Approbations à obtenir du ministère des Transports pour le déplacement du bromure de méthyle capturé.
- Étiquetage du bromure de méthyle récupéré.
- Propriété du bromure de méthyle récupéré.
- Clarification dans le cas où le bromure de méthyle récupéré dépasse les contingents accordés.

Une façon de réduire la quantité de bromure de méthyle à recapturer et, par conséquent, la taille du collecteur nécessaire consisterait à souffler de gros ballons à l'intérieur de la cale pour réduire l'espace mort qui doit être traité par fumigation. Ces ballons devraient être imperméables au bromure de méthyle, de sorte que le gaz ne soit pas dilué sous la dose efficace requise dans la cale du navire, et le gaz pourrait être recapturé sans risque et rapidement après la fumigation. Cette technique a été utilisée dans les églises en Allemagne pour réduire l'espace de 80 % avant la fumigation avec du fluorure de sulfuryle (Binker, 1993).

ECO_2FUME {

Dix bouteilles d'ECO_2FUME **{,** au coût de 150 $CAN chacune, sont nécessaires pour traiter par fumigation une cale de navire de 6 000 m^3. Les principaux coûts supplémentaires par rapport à la fumigation avec le bromure de méthyle sont liés à la plus longue durée du traitement nécessaire lorsque les températures sont basses. L'indemnité de surestaries dans le cas des navires

amarrés s'élève à environ 10 000 $CAN par jour. Il y a aussi le coût additionnel associé à la non-utilisation du navire.

Le traitement avec le fumigant ECO_2FUME® a comme avantage de ne pas libérer de bromure de méthyle dans l'atmosphère, et d'être plus rapide que la fumigation avec des préparations de phosphure d'aluminium ou de magnésium.

Deux grands obstacles empêchent l'utilisation du fumigant ECO_2FUME® pour lutter contre les insectes dans les cales de navire vides. Il faut plus de temps à la phosphine qu'au bromure de méthyle pour agir à de basses températures. Au cours de cet essai, les températures étaient douces, avec des maximums supérieurs à 30 ºC. Toutefois, les navires doivent souvent être soumis à la fumigation par temps frais. L'efficacité de la phosphine est davantage réduite que celle du bromure de méthyle lorsque les températures sont basses (Bond, 1984). Phillips (1998) a montré que 24 heures après l'utilisation de 200 ppm de phosphine produite par le système ECO_2FUME® à une température de 5 ºC, 80 % des coléoptères adultes parasites des produits entreposés étaient morts, alors que seulement 15 à 80 % des oeufs avaient été détruits. Une exposition de 72 heures était nécessaire pour obtenir de 75 à 100 % de mortalité dans le cas des oeufs. Les concentrations plus fortes utilisées dans cet essai provoqueraient une certaine hausse de la mortalité même à ces basses températures. Dans le cas de la phosphine, des concentrations plus élevées ne peuvent cependant pas compenser entièrement pour la durée moins longue du traitement, c.-à-d., doubler la concentration ne réduira pas de moitié la durée du traitement nécessaire pour combattre les insectes. Les navires sont chauffés lorsqu'ils sont peinturés, et on pourrait aussi les préchauffer avant une fumigation avec la phosphine pour accroître l'efficacité du traitement. Le second obstacle est que le fumigant ECO_2FUME® n'est pas homologué au Canada, quoique l'entreprise Cytec Canada Ltd. se soit montrée intéressée à l'homologuer au Canada.

***Système Horn Generator alimenté avec des granules de Magtoxin*z**

Comme dans le cas du traitement avec ECO_2FUME®, les fumigations à de basses températures nécessiteraient plus de temps que celles effectuées avec le bromure de méthyle. Il faut aussi régler la question de l'élimination du carbonate de magnésium. Des demandes d'homologation des granules de Magtoxin**z** qui alimentent le Horn Generator ont été soumises au Canada, avec l'appui de DEGESCH America, Inc. Le coût d'une fumigation avec le système Horn Generator alimenté avec des granules de Magtoxin**z** n'est pas disponible pour le moment.

Utilisation potentielle dans d'autres applications

On pourrait recourir à ces techniques dans d'autres situations où le bromure de méthyle est utilisé pour lutter contre les insectes et les organismes pathogènes. Les conteneurs renferment de tout, des produits manufacturés aux fruits. Certains peuvent être soumis à une fumigation avec du bromure de méthyle au moment de l'exportation ou de l'importation à des fins de quarantaine ou pour d'autres raisons. Cryo-Line Supplies Ltd. a déjà démontré dans le port de Savannah, en Géorgie, que le bromure de méthyle peut être recapturé des conteneurs, et a démontré dans cet essai qu'il peut être facile de le recapturer d'espaces volumineux.

Les deux méthodes productrices de phosphine pourraient être utilisées de concert avec la chaleur et le dioxyde de carbone pour traiter par la fumigation les usines de transformation d'aliments (Mueller, 1993; Marcotte, 1996). Ces techniques de fumigation seraient plus exactes que la méthode actuelle qui fait appel au phosphure d'aluminium ou de magnésium. Il serait ainsi moins nécessaire d'entrer de nouveau dans la structure au cours de la fumigation pour y ajouter ou enlever du fumigant. Un autre avantage de la méthode combinée consiste en une utilisation de concentrations moins importantes de phosphine (100 ppm) que celles utilisées dans cette étude, réduisant ainsi le plus possible la corrosion.

Le Horn Generator a été utilisé à l'échelle commerciale en Amérique du Sud pendant plusieurs années. Au cours de cette période, une grande variété de structures ont été traitées par la fumigation. Un certain nombre d'essais a été effectué en Amérique du Nord. Des entrepôts (à un étage et à étages multiples), des enceintes, des bâches et de grands silos à grains ont été traités avec succès.

Autres solutions de remplacement à la fumigation des cales de navire vides avec du bromure de méthyle

Un nettoyage approfondi des cales après le déchargement du grain ou de toute autre cargaison représente la façon la meilleure et préférée pour empêcher les insectes de trouver nourriture et refuge dans les cales vides de navire. Grâce à la conception des navires modernes, les résidus de grains qui restent après le déchargement ont grandement diminué, ce qui facilite de meilleures conditions sanitaires. Il reste donc moins d'insectes dans la cale, qui pourraient infester la cargaison suivante de grains. En 1948-1949, 8 % des 517 navires inspectés ont dû être soumis à une fumigation à cause de la présence d'insectes dans leurs cales (Monro, 1951). De nos jours, environ 2 % des navires inspectés sont soumis à un tel traitement (tableau 1).

Aux États-Unis et en Australie, le nombre de navires céréaliers vides soumis à la fumigation avec le bromure de méthyle est très

faible. Aux États-Unis, les cales infestées sont nettoyées et pulvérisées avec des insecticides à effet rémanent comme la cyfluthrine ou le malathion. On s'y préoccupe moins des insectes dans les cales vides de navire parce que le grain est souvent traité par la fumigation en transit avec de la phosphine ou est déjà protégé par un insecticide à effet rémanent sur le grain. (L. Zettler, communication personnelle). En Australie, les navires sont nettoyés à la vapeur en mer. Si les cales d'un navire sont encore infestées par des insectes, le navire doit rebrousser chemin. (J. Banks, communication personnelle). Le nettoyage est aussi la méthode la plus souvent utilisée au Canada. En France, le bromure de méthyle n'est pas utilisé pour la fumigation des cales de navire depuis 1950. Les grandes infestations par les insectes dans les cales de navire sont réprimées avec le dichlorvos. Dans le cas des infestations limitées, le grain est traité avec du dichlorvos au moment du chargement ou avec de la phosphine après le chargement (P. Ducom, communication personnelle).

Il est rare que le grain canadien soit traité avec un insecticide à effet rémanent, comme le malathion ou la terre à diatomées, parce que les hivers sont rigoureux au Canada et que la phosphine est utilisée pour lutter contre les infestations à l'exploitation agricole et dans les silos primaires. Comme le grain traité au niveau de l'exploitation agricole est mêlé à du grain non traité, il n'y a presque pas d'insecticide à effet rémanent sur le grain exporté. Aussi le grain canadien est-il vulnérable aux infestations lorsqu'il y a des insectes dans les cales du navire au chargement. Les clients demandent parfois que le grain soit traité avec du malathion au moment de son chargement à bord des navires; cependant, la plupart des clients canadiens ne souhaitent pas que le grain soit traité avec des insecticides à effet rémanent. La fumigation du grain avec de la phosphine dans les navires est autorisée au Canada puisque le traitement ne laisse pas de résidus sur le grain. Ce type de traitement coûterait sensiblement la même chose qu'une fumigation des navires vides avec du bromure de méthyle et détruirait également les insectes qui seraient déjà présents dans le navire. Toutefois, la *Loi sur les grains du Canada* interdit le chargement de grains à bord de navires infestés. Une autre solution consisterait à retourner les 25 navires environ chaque année qui nécessiteraient un traitement avec le bromure de méthyle, comme le fait l'Australie.

Enfin, le fluorure de sulfuryle (Vikane) est homologué pour la fumigation des cales de navire aux É.-U.; cependant, il est rarement utilisé dans les cales de navire et sert surtout à lutter contre les termites. Il n'est pas très efficace contre les oeufs, et le temps d'exposition nécessaire est plus long que dans

le cas du bromure de méthyle pour combattre d’autres stades vitaux d’insectes (Bond, 1984). Ce produit n’est pas homologué comme antiparasitaire au Canada.

Bibliographie

Anonyme, 1998. United Nations Environment Programme (UNEP) Methyl Bromide Technical Options Committee (MBTOC). *1998 Assessment of the Alternatives to Methyl Bromide*. United Nations Environment Programme, Nairobi: 374 p.

Banks, HJ. 1984. Modified atmospheres - testing of storage structures for gas tightness, p. 533-543. In Champ, B.R. and Highley, E. [Eds.] *Proceedings of the Australian Development Assistance Course on Preservation of Stored Cereals*. Vol. 2 (CSIRO) Division of Entomology, Canberra.

Binker G. 1993. New concepts for environment protection and new developments in the fumigation of cultural property. Conference Proceedings: Fumigation As a Means of Wood Pest Control p. 90-99.

Bond, E. 1984. *Manual of fumigation for insect control*. FAO Plant Production and Protection Paper 54, 430 p.

Brigham, R. 1999. *Effets corrosifs de la phosphine, du dioxyde de carbone, de la chaleur et de l'humidité sur l'équipement électronique : phase II*. Rapport préparé pour le Bureau de l'environnement, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Disponible sur le Web à l'adresse : http://www.agr.ca/policy/environment

Monro, HAU. 1951. *Insectes nuisibles des cargos*. Publication 855 du ministère de l'Agriculture du Canada.

Mueller, DK. 1993. Low concentration phosphine fumigation method US patent 5,403,597.

Marcotte, M., Demianyk, C., Van Ryckeghem, A., Mueller, J. and McCarthy B. 1996. Heat, phosphine and CO_2: Collaborative Experimental Structural Fumigation. Rapport préparé pour le Bureau de l'Environnement, Agriculture et Agroalimentaire Canada. Disponible sur le Web à l'adresse : http://www.agr.ca/policy/environment

Pearson, D. 1995. Report on the explosive properties of phosphine in the presence of carbon dioxide and air. (Rapport préparé pour BOC Gases, par WorkCover Authority, Londonderry Occupational Safety Centre) 19 p.

Phillips TW. 1998. Cylinder-based phosphine for control of postharvest insect pests. Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions

Reductions 86-89. Disponible sur le Web à l’adresse : http://www.epa.gov/docs/ozone/mbr/1998airc/086phillips.pdf

Annexe A : Étiquettes expérimentales

ANTIPARASITAIRE À USAGE RESTREINT
EN RAISON DE LA TOXICITÉ AIGUË PAR INHALATION
DU PHOSPHURE D'HYDROGÈNE GAZEUX TRÈS TOXIQUE (HYDROGÈNE PHOSPHORÉ PH_3)
Pour la vente au détail aux opérateurs antiparasitaires détenteurs d'un permis provincial et réservé à leur usage exclusif pour les utilisations prévues par l'accréditation de l'opérateur ou à l'usage des personnes ayant reçu la formation conformément au manuel des opérateurs antiparasitaires (*Applicators Manual*) travaillant sous la supervision directe et en présence physique de l'opérateur détenteur du permis provincial. On entend par présence physique la présence sur place ou sur les lieux. Lire et suivre le mode d'emploi sur l'étiquette et le manuel des opérateurs antiparasitaires (*Applicators Manual*) qui contient des instructions complètes pour l'utilisation sans risque de cet antiparasitaire.

MAGTOXINz **de DEGESCH**

GRANULES DE MAGTOXIN**z** de DEGESCH

POUR LA LUTTE CONTRE LES PARASITES DES GRAINS ENTREPOSÉS, DES ALIMENTS TRANSFORMÉS, DES ALIMENTS DU BÉTAIL ET DES PRODUITS NON ALIMENTAIRES Y COMPRIS LE TABAC

Matières actives : phosphure de magnésium . . . . . 96 %
Matières inertes . . . . . 4 %

GARDER HORS DE LA PORTÉE DES ENFANTS
DANGER POISON
Nº d'enregistrement de produit antiparasitaire :

(À L'UTILISATEUR : Si vous ne comprenez pas le français, n'utilisez pas ce produit avant d'avoir reçu toutes les explications sur l'étiquette).

PREMIERS SOINS
Les symptômes d'une surexposition sont les suivants : maux de tête, étourdissements, nausées, difficulté à respirer, vomissements et diarrhée. Dans tous les cas de surexposition, consulter un médecin immédiatement. Conduire la victime chez le médecin ou à un établissement d'urgence.

En cas d'inhalation de gaz ou de poussière de phosphure de magnésium :
Amener la personne exposée au grand air. La garder au chaud et s'assurer qu'elle respire sans difficulté. En cas d'arrêt respiratoire, donner la respiration artificielle par la méthode bouche-à-bouche ou par un autre moyen de réanimation. Ne rien donner par la bouche à une personne inconsciente.

En cas d'ingestion de GRANULES ou de poudre de phosphure de magnésium :
Boire ou faire boire un ou deux verres d'eau à la victime et induire le vomissement en appuyant au fond de la gorge avec le doigt ou en donnant du sirop d'ipéca si le produit est disponible. Ne rien donner par la bouche à une victime inconsciente ou qui n'est pas alerte.

En cas de contact de la poussière des granules de phosphure de magnésium avec la peau ou les vêtements :
Brosser ou secouer la substance des vêtements et des chaussures dans un endroit bien aéré. Laisser les vêtements s'aérer dans un endroit ventilé avant de les laver. Ne pas laisser de vêtements contaminés dans des endroits occupés et/ou confinés comme des automobiles, des camionnettes, des chambres de motel, etc. Laver la peau contaminée avec de l'eau et du savon.

En cas de contact de la poussière de granules avec les yeux :
Rincer abondamment avec de l'eau. Consulter immédiatement un médecin.

CONTENU NET :
850 g de GRANULES

Fabriqué par :	Distribué par :	Agent canadien :
DEGESCH DE CHILE LTDA.	DEGESCH AMERICA INC.	GARDEX CHEMICALS LTD.
Camino Antiguo a	P.O. Box 116	7 Meridian Road
Valparaaiso #1321	Weyers Dave, VA	Etobicoke (Ontario)
Padre Hurtado	24486 É.-U.	M9W 5B4 Canada

Santiago Chili Tél. : (540) 234-9281 Tél. : (416) 675-1638

MODE D’EMPLOI

Ce produit ne peut être utilisé/appliqué qu’avec le Horn Generator.

L’utilisation de ce produit d’une façon non cohérente avec le mode d’emploi sur l’étiquette constitue une infraction à la ***Loi sur les produits antiparasitaires***. Ce produit est accompagné d’un manuel des opérateurs antiparasitaires (***Applicators Manual***) approuvé. Il faut lire et comprendre tous les renseignements sur l’étiquette. Toutes les parties de l’étiquette sont d’égale importance pour une utilisation sans risque et efficace de ce produit. Appelez DEGESCH, America Inc. ou Gardex Chemicals Ltd. si vous avez des questions ou si vous ne comprenez pas n’importe quelle partie de cette étiquette.

Consulter le manuel des opérateurs antiparasitaires (*Applicators Manual*) pour des mises en garde, des recommandations et un mode d’emploi plus détaillés.

INSTRUCTIONS POUR L'ENTREPOSAGE

1. Entreposer les GRANULES de MAGTOXIN**z** de DEGESCH dans un endroit sec, bien aéré, éloigné de la chaleur, verrouillé et sous clé. Indiquer par une affiche qu'il s'agit d'une endroit servant à l'entreposage d'antiparasitaires. Ne pas contaminer l'eau, les aliments ni les aliments du bétail en entreposant des antiparasitaires aux mêmes endroits que ceux utilisés pour l'entreposage de ces produits.
2. Ne pas entreposer dans des édifices où résident des personnes ou des animaux domestiques. Garder hors de la portée des enfants.
3. Les GRANULES de MAGTOXIN**z** de DEGESCH sont fournis dans des flacons en aluminium hermétiques au gaz qui peuvent être scellés à nouveau.
4. La durée de conservation à l'étalage des GRANULES de MAGTOXIN**z** est pour ainsi dire illimitée pour autant que les contenants demeurent hermétiquement scellés.

INSTRUCTIONS POUR L'ÉLIMINATION

Ne pas contaminer l'eau, les aliments ni les aliments du bétail au moment de l'entreposage ou de l'élimination.

Les GRANULES de MAGTOXIN**z** n'ayant pas réagi ou ayant partiellement réagi présentent un danger aigu. Une élimination incorrecte des excédents d'antiparasitaire contrevient à la ***Loi sur les produits antiparasitaires***. S'il est impossible d'éliminer ces déchets selon les instructions sur l'étiquette, communiquer avec le fabricant ou le distributeur pour obtenir des directives. Pour des instructions précises, voir la section sur les procédures en cas de déversements et de fuites (***Spill and Leak Procedures***) dans le manuel des opérateurs antiparasitaires (***Applicators Manual***). Certains règlements locaux et provinciaux sur l'élimination des déchets peuvent varier des recommandations suivantes. Les procédures d'élimination devraient être revues avec les autorités appropriées pour assurer la conformité aux règlements locaux et provinciaux. Se débarrasser des contenants dans un site d'enfouissement sanitaire ou par d'autres procédures approuvées par les autorités provinciales et locales. S'ils sont correctement exposés pendant la période de fumigation, les GRANULES de MAGTOXIN**z** utilisés ne contiendront pour ainsi dire aucun phosphure de magnésium n'ayant pas réagi. Il s'agira d'un déchet non dangereux. Toutefois, les GRANULES de MAGTOXIN**z** incomplètement exposés nécessiteront une attention spéciale au moment de leur élimination.

PROCÉDURES EN CAS DE DÉVERSEMENTS ET DE FUITES
Précautions et directives générales
Un déversement qui n’est pas lié à une application ou à une manipulation normale peut produire des niveaux élevés de gaz; par conséquent, le personnel en présence doit porter un appareil respiratoire autonome ou l’équivalent quand la concentration de phosphure d’hydrogène gazeux est inconnue. D’autre équipement de protection respiratoire approuvé par le NIOSH et la MSHA peut être porté si la concentration est connue ou inférieure à 15 ppm. Ne jamais utiliser d’eau pour nettoyer un déversement de GRANULES de MAGTOXIN**z** de DEGESCH. L’eau entrant en contact avec les phosphures métalliques n’ayant pas réagi accélérera énormément la production de phosphure d’hydrogène gazeux qui pourrait résulter en un risque d’intoxication et/ou d’incendie. Porter des gants de coton ou d’un autre tissu qui respire pour manipuler des phosphures métalliques.
Retourner tous les flacons d’aluminium intacts de GRANULES de MAGTOXIN**z** dans les caisses originales ou dans un autre type d’emballage qui a été bien construit et marqué conformément au règlement d’application de la *Loi sur le transport des matières dangereuses*. Signaler les caisses endommagées au destinataire et à l’expéditeur. Si des flacons ont été percés ou endommagés et qu’ils fuient, ils doivent être temporairement colmatés avec du ruban d’aluminium. Transporter les flacons endommagés, ainsi scellés, à un endroit convenant pour l’entreposage des antiparasitaires à des fins d’inspection. Mise en garde : Le contenu des flacons percés peut s’enflammer instantanément lorsque ces derniers sont ouverts un peu plus tard. Consulter le manuel des opérateurs antiparasitaires (*Applicators Manual*) pour des procédures plus détaillées en cas de déversements et de fuites (*Spill and Leak Procedures*). Pour obtenir d’autres instructions et recommandations, communiquer avec DEGESCH America, Inc. ou Gardex Chemicals Ltd.

CE PRODUIT EST ACCOMPAGNÉ D’UNE ÉTIQUETTE ET D’UN MANUEL DES OPÉRATEURS ANTIPARASITAIRES (*APPLICATORS MANUAL*) APPROUVÉS. IL FAUT LIRE ET COMPRENDRE TOUS LES RENSEIGNEMENTS SUR L’ÉTIQUETTE. TOUTES LES PARTIES DE L’ÉTIQUETTE SONT D’ÉGALE IMPORTANCE POUR UNE UTILISATION SANS RISQUE ET EFFICACE DE CE PRODUIT. COMMUNIQUER AVEC DEGESCH, AMERICA INC. OU GARDEX CHEMICALS LTD. POUR OBTENIR DES EXPLICATIONS SUR N’IMPORTE QUELLE PARTIE DE CETTE ÉTIQUETTE.

CONSULTER LE MANUEL DES OPÉRATEURS ANTIPARASITAIRES (*APPLICATORS MANUAL*) POUR OBTENIR DES MISES EN GARDE, DES RECOMMANDATIONS ET DES INSTRUCTIONS PLUS DÉTAILLÉES SUR L’UTILISATION.

Garantie : Le vendeur garantit que le produit est conforme à sa description chimique et que, lorsqu’il est utilisé conformément au mode d’emploi sur l’étiquette dans des conditionS normales d’utilisation, il convient raisonnablement aux fins indiquées sur l’étiquette. Le vendeur n’offre aucune autre garantie, explicite ou implicite, et l’acheteur assume tous les risques s’il utilise le produit de façon contraire au mode d’emploi sur l’étiquette.

MISES EN GARDE

DANGERS POUR LES HUMAINS ET LES ANIMAUX DOMESTIQUES
DANGER : Le phosphure de magnésium des GRANULES de MAGTOXIN**z** de DEGESCH ou de la poussière peut être fatal en cas d'absorption. Éviter tout contact avec les yeux, la peau ou les vêtements. Ne pas manger, boire ni fumer en manipulant des fumigants à base de phosphure de magnésium. Si un contenant scellé est ouvert ou si la substance entre en contact avec de l'humidité, de l'eau ou des acides, ces produits dégageront du phosphure d'hydrogène (phosphine, PH_3) qui est un gaz extrêmement toxique. Si une odeur d'ail est détectée, consulter la section sur la surveillance de l'hygiène industrielle (*Industrial Hygiene Monitoring Section*) du manuel des opérateurs antiparasitaires (*Applicators Manual*) pour connaître les procédures de surveillance appropriées. Le phosphure d'hydrogène gazeux pur est inodore; l'odeur d'ail est attribuable à un contaminant. Comme l'odeur du phosphure d'hydrogène peut ne pas être détectée dans certaines circonstances, l'absence d'une odeur d'ail ne signifie pas l'absence de concentrations dangereuses de phosphure d'hydrogène gazeux. Observer les bonnes procédures de rentrée spécifiées ailleurs sur l'étiquette pour éviter la surexposition.

AVIS AU MÉDECIN
Les GRANULES de phosphure de magnésium ou la poussière réagissent avec l'humidité de l'air, les acides et de nombreux autres liquides pour dégager du phosphure d'hydrogène gazeux (phosphine, PH_3). Une faible exposition par inhalation de ce gaz cause des malaises (vague sensation de mal), des bourdonnements d'oreilles, de la fatigue, des nausées et une pression dans la poitrine qui est soulagée en amenant la victime à l'air libre. Un empoisonnement modéré cause de la faiblesse, des vomissements, de la douleur juste au-dessus de l'estomac, des douleurs à la poitrine, de la diarrhée et de la dyspnée (difficulté à respirer). Des symptômes d'empoisonnement grave peuvent se manifester en l'espace de quelques heures et jusqu'à plusieurs jours plus tard résultant en de l'oedème pulmonaire (liquide dans les poumons) et peuvent conduire à des étourdissements, de la cyanose (peau bleue ou violacée), une perte de conscience et la mort.

En quantité suffisante, la phosphine affecte le foie, les reins, les poumons, le système nerveux et le système circulatoire. L'inhalation peut causer de l'oedème pulmonaire (liquide dans les poumons) et de la congestion (excès de sang dans une partie du corps), de petites hémorragies cérébrales périvasculaires et l'oedème du cerveau (liquide dans le cerveau). L'ingestion peut causer des symptômes affectant les poumons et le cerveau, mais les dommages aux viscères (organes internes) sont plus communs. Un empoisonnement à la phosphine peut entraîner 1) de l'oedème pulmonaire, 2) un niveau sérique élevé de GOT, de LDH et de phosphatase alcaline dans le foie, une réduction de la prothrombine, des hémorragies et une jaunisse (coloration jaune de la peau) et 3) une hématurie des reins (sang dans l'urine) et une anurie (émission d'urine anormale ou absente). La pathologie est caractéristique de l'hypoxie (manque d'oxygène dans les tissus de l'organisme). Une exposition fréquente à des concentrations supérieures aux niveaux admissibles pendant des jours ou des semaines peut causer un empoisonnement. Le traitement est fonction des symptômes.

RISQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Les GRANULES de phosphure de magnésium et la poussière partiellement épuisée dégageront du phosphure d'hydrogène s'ils sont exposés à l'humidité de l'air ou s'ils entrent en contact avec de l'eau, des acides et de nombreux autres liquides. Le phosphure de magnésium est extrêmement réactif et libérera du gaz rapidement. C'est particulièrement le cas en présence d'eau liquide et à des températures supérieures. Comme le phosphure d'hydrogène peut prendre feu spontanément à des concentrations supérieures à sa limite d'inflammabilité inférieure de 1,8 % vol/vol, il est important de ne pas dépasser cette concentration. Ne pas entasser ni empiler ni mettre en contact avec de l'eau les fumigants de phosphure de magnésium. Sinon, il peut se produire une augmentation de la température et du rythme de production de gaz; ce dernier se trouve alors confiné et pourrait s'enflammer.

Il est préférable d’ouvrir les contenants de produits de phosphure de magnésium à l’air libre puisque, sous certaines conditions, ces produits peuvent s’enflammer instantanément à l’ouverture du contenant. Les contenants peuvent aussi être ouverts près d’un ventilateur ou d’un autre dispositif de ventilation approprié qui éliminera rapidement l’air contaminé. Pour ouvrir un flacon de GRANULES de MAGTOXIN**z**, le garder éloigné du visage et du corps et en dévisser le couvercle. Bien que les risques d’une inflammation instantanée soient très faibles, il ne faut jamais ouvrir ces contenants dans une atmosphère inflammable. Ces précautions réduiront également l’exposition du préposé à la fumigation au phosphure d’hydrogène.

La phosphine pure (phosphure d’hydrogène) consiste en un gaz pratiquement insoluble dans l’eau, les matières grasses, et les huiles; elle reste stable aux températures normales de fumigation. Cependant, elle peut réagir avec certains métaux et causer de la corrosion, en particulier à des températures et à des humidités relativement élevées. Des métaux comme le cuivre, le laiton et d’autres alliages du cuivre, ainsi que des métaux précieux, comme l’or et l’argent, sont vulnérables à la corrosion par la phosphine. Aussi, les petits moteurs électriques, les détecteurs de fumée, les têtes d’extincteur en laiton, les batteries et leurs charges, les lève-palettes, les systèmes de surveillance de la température, l’appareillage de commutation, les dispositifs de communication, les ordinateurs, les calculatrices et autre matériel électrique devraient être protégés ou enlevés avant la fumigation. Le phosphure d’hydrogène réagira également avec certains sels métalliques et, par conséquent, des articles sensibles comme les pellicules photographiques, certains pigments inorganiques, etc. ne devraient pas y être exposés.

Annexe B : Liste des collaborateurs et des personnes-ressources

Pierre Beauchamp
Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire
1033 Santé Canada
2250, prom. Riverside
Ottawa (Ont.) K1A 0K9, Canada
Téléphone : (613) 736-3756; télécopieur : (613) 990-0605
Courriel : pierre_beauchamp@hc-sc.gc.ca

Robert J. Brigham
Consultant auprès du Bureau de l'environnement
Agriculture et Agroalimentaire Canada
930, av. Carling, pièce 367
Ottawa (Ont.) K1A 0C5, Canada

Denis Bureau
Adalia Preventive Services Ltd.
8685, rue Lafrenaie
Saint-Léonard (Qc) H1P 2B6, Canada
Téléphone : (514) 852-9800; télécopieur : (514) 852-9809
Courriel : adalia@videotron.ca

Roger Cavasin
Cytec Canada Inc.
P.O. Box 240
Niagara Falls (Ont.) L2E 6T4, Canada
Téléphone : (905) 374-5828; télécopieur : (905) 374-5939
Courriel : roger_cavasin@we.cytec.com

Geoff M. Cutten
Ministère de l'Environnement
40 St. Clair Avenue West, 7th floor
Toronto (Ont.) M4V 1M2
Téléphone : (416) 327-5174; télécopieur : (416) 327-2936
Courriel : cutteng@ene.gov.on.ca

Paul Fields
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Centre de recherches sur les céréales
195, ch. Dafoe
Winnipeg (Man.) R3T 2M9, Canada
Téléphone : (204) 983-1468; télécopieur : (204) 983-4604
Courriel : pfields@em.agr.ca

Nancy Kummen
Agence canadienne d’inspection des aliments
Suite 350, 601 West Cordova
Vancouver (C.-B.) V6B 1G1, Canada
Téléphone : (604) 666-5847; télécopieur : (604) 666-1550
Courriel : kummenn@em.agr.ca

Sheila Jones
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Direction générale des politiques, Bureau de l’environnement
930, av. Carling
Ottawa (Ont.) K1A 0C5, Canada
Téléphone : (613) 759-7300; télécopieur : (613) 759-7238
Courriel : jonessh@em.agr.ca

Dorothy Laidlaw
Agence canadienne d’inspection des aliments
Direction des produits végétaux
Division de la santé et de la production végétales
Section des grains et grandes cultures
59, prom. Camelot
Nepean (Ont.) K1A 0Y9
Téléphone : (613) 225-2342 (poste 4338);
télécopieur : (613) 228-6626
Courriel : dlaidlaw@em.agr.ca

Brett MacKillop
Abell Pest Control Ltd.
246 Attwell Dr.
Etobicoke (Ont.) M9W 5B4, Canada
Téléphone : (416) 675-3305 (poste 318);
télécopieur : (416) 675-6727
Courriel : bmackillop@abellgroup.com

Bernie McCarthy
PCO Services Inc.
5840 Fallborne St
Mississauga (Ont.) L5R 3L8, Canada
Téléphone : (905) 502-9700; télécopieur : (905) 502-9510
Courriel : bmmccart@scj.com

John McIssac
Cryo-Line Supplies Ltd.
3100 Ridgeway Dr., Unit 28
Mississauga (Ont.) L5L 5M5, Canada
Téléphone : (905) 608-2919; télécopieur : (905) 608-2926
Courriel : cryoline@cryoline.on.ca

Mike McLean

Degesch America Inc.
P.O. 451036
Houston, TX 77245, É.-U.
Téléphone : (713) 433-4777; télécopieur : (713) 433-0877
Courriel : mmclean@degeschamerica.com

Michel Maheu
Maheu et Maheu Inc.
710, av. Bouvier, pièce 195
Québec (Qc) G2J 1C2, Canada
Téléphone : (418) 623-8000; télécopieur : (418) 623-5584
Courriel : mmaheu@maheu-maheu.com

Mark Matthews
Degesch America Inc.
P.O. 116
Weyers Cave, VA 24486, É.-U.
Téléphone : (804) 231-1000; télécopieur : (804) 231-1047
Courriel : degesch@erols.com

Dave Mueller
Fumigation Service and Supply Inc.
16950 Westfield Park Rd.
Westfield, IN 46074-9374, É.-U.
Téléphone : (317) 896-9300; télécopieur : (317) 867-5757
Courriel : InsectsLtd@aol.com

Stephen Murch
Upper Lake Group Inc.
49 Jackes Ave
Toronto (Ont.) M4T 1E2, Canada
Téléphone : (416) 920-7610; télécopieur : (416) 920-5785

Don Schaheen
Degesch America Inc.
P.O. 116
Weyers Cave, VA 24486, É.-U.
Téléphone : (540) 234-9281; télécopieur : (540) 234-8225

Martin St-Pierre
Maheu & Maheu Inc.
1300, rue Gay-Lussac, pièce 100
Boucherville (Qc) J4B 7G4, Canada
Téléphone : (450) 449-3504; télécopieur : (450) 449-5776
Courriel : mst-pierre@maheu-maheu.com

Blaine Timlick
Commission canadienne des grains
303, rue Main
Winnipeg (Man.) R3C 3G8, Canada
Téléphone : (204) 983-2788; télécopieur : (204) 983-7550
Courriel : btimlick@cgc.ca

Alan Van Ryckeghem
Fumigation Service and Supply Inc.
Westfield Park Rd.
Westfield, IN 46074-9374, É.-U.
Téléphone : (317) 896-9300; télécopieur : (317) 867-5757
Courriel : InsectsLtd@aol.com

Murray Weightman
Cryo-Line Supplies Ltd.
3100 Ridgeway Dr., Unit 28
Mississauga (Ont.) L5L 5M5, Canada
Téléphone : (905) 608-2919; télécopieur : (905) 608-2926
Courriel : cryoline@cryoline.on.ca

Noel White
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Centre de recherches sur les céréales
195, ch. Dafoe
Winnipeg (Man.) R3T 2M9, Canada
Téléphone : (204) 983-1452; télécopieur : (204) 983-4604
Courriel : nwhite@em.agr.ca

Larry Zettler
Horticultural Crops Research Laboratory
United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service
2021 S Peach Ave
Fresno, CA 93727, É.-U.
Téléphone : (559) 453-3023; télécopieur : (559) 453-3088
Courriel : lzettler@qnis.net

PRINTED IN CANADA ON 100% RECYCLED PAPER

IMPRIMÉ AU CANADA SUR DU PAPIER 100 % RECYCLÉ